



DEUTSCHES
PATENTAMT

②1 Aktenzeichen: P 43 35 121.2
②2 Anmeldetag: 17. 10. 93
④3 Offenlegungstag: 4. 5. 95

⑦1 Anmelder:
Massen, Robert, Prof. Dr.-Ing., 78337 Öhningen, DE

⑦2 Erfinder:
gleich Anmelder

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 41 15 445 C2
DE-AS 24 47 789
DE 41 43 193 A1
DE 41 34 117 A1
DE 40 40 609 A1
DE 40 18 333 A1
DE 38 33 715 A1
DE 38 29 925 A1
DE 37 23 555 A1
DE 36 08 438 A1
DE-OS 29 20 694
US 51 73 865
WO 87 01 194 A1

mc, Jan. 94, S.110-114;
OTT, R.: Teile erkennen und ihre Position ermit- teln.
In: Industrie Anzeiger, Nr. 97, 04.12.1985, 107.Jg.,
S.23-25;
TROPF, H.: Bildanalysesystem mit
anwendungsspezi- fisch konfiguriertem
Funktionsumfang zur Erkennung von Werkstücken. In:
Technisches Messen tm 57,1990,10, S. 395-402;
HERRE, E.;
MASSEN, R.: Symbolische
konturorientierte Bildverarbeitung durch
Echtzeit-Polygon-Approxima- tion. In: Technisches
Messen tm 57, 1990, 10, S. 384-388;
FÖRSTNER, Wolfgang;
PALLASKE, Rainer: Mustererken- nung
und 3D-Geoinformationssysteme¹. In: ZPF-
Zeitschrift für Photogrammetrie und
Fernerkundung, 5/1993, S.167-177;

⑤4 Automatische Flächenrückführung bei optischen 3D Digitalisierer

⑤7 Zur Übertragung der großen Menge von Punktkoordina-
ten, wie sie bei der optischen Digitalisierung von Modellen
und Formen entstehen auf CAD-Anlagen müssen diese
Punktkoordinate in polynomiale Flächen zurückgeführt wer-
den. Hierzu müssen die Punkte in sinnvolle Regionen
unterteilt werden, welche jeweils in eine Fläche oder in
einem Flächenverband zurückgeführt werden. Die Erfindung
beschreibt ein Verfahren zur optischen Markierung dieser
Regionen direkt auf dem zu digitalisierenden Modell und der
automatischen Erkennung dieser Markierungen aus der
zwei-dimensionalen Bildauswertung eines im oder am
3-D-Meßkopf enthaltenen Bildsensors. Insbesondere wer-
den linienhafte und farbige, sowie flächenhafte und textu-
rierte Markierungen vorgeschlagen. Durch eine entspre-
chende Auswahl lassen sich die Markierungen nicht nur
automatisch erkennen, sondern auch automatisch unter-
scheiden und somit für jede Flächenrückführung getrennt
Steuerinformationen für die Rückführungsverfahren auto-
matisch mit erkennen.

DE 43 35 121 A 1

BEST AVAILABLE COPY

DE 43 35 121 A 1

Die berührungslose und schnelle Digitalisierung von dreidimensionalen Modellen und Formen ist ein wichtiges Verfahren zur Beschleunigung der Produktentwicklung. Es sind zahlreiche optische Verfahren bekannt, welche mit Hilfe eines optischen 3D Meßkopfes in kurzer Zeit mehrere hunderttausend Koordinaten von Punkten der Oberfläche erzeugen können. Zahlreiche dieser Verfahren verwenden Triangulationsmeßköpfe mit eingebauten Bildsensoren, insbesondere CCD-Matrix-Sensoren. So sind z. B. in einem Stereomeßkopf zwei Matrix-Bildsensoren eingebaut, während in einem Streifenprojektionsmeßkopf ein Streifenprojektor und ein Matrix-Bildsensor verwendet werden.

Während die Gewinnung zahlreicher Oberflächenkoordinaten mit solchen 3D Sensoren technologisch zufriedenstellend gelöst ist, ist die Erzeugung von klassischen CAD Daten, insbesondere die Erzeugung von durch Polynome beschriebenen Flächen wie Bi-Splines, Bézier oder NURBS aus dieser großen Menge redundanter Punktedaten ein nur ungenügend gelöstes Problem. Zwar sind zahlreiche Verfahren bekannt wie z. B. eine Bézier-Fläche aus einer begrenzten Menge von Punktedaten gewonnen werden kann (die sog. Flächenrückführung). Allerdings ist es hierzu notwendig, die Punktedaten, welche zu einer Fläche zurückgeführt werden sollen, mit einer technisch/konstruktiv sinnvollen Berandung auszugrenzen aus der großen Menge aller Punktedaten, welche aus der Digitalisierung eines ganzen Modells entstehen. Die ist daher erforderlich, weil es nur in den seltensten Fällen möglich ist, ein digitalisiertes Modell in eine einzige Polynomfläche zurückzuführen. In der Regel muß die Oberfläche in eine Reihe von sinnvollen Unterflächen eingeteilt werden, welche jeweils in eine eigene Polynomfläche oder in einen eigenen Verband von Polynomflächen zurückgeführt werden.

Es sind erste, einfache Verfahren bekannt, solche Berandungen automatisch aus der durch die Digitalisierung erzeugten Punktwolke zu bestimmen. In der Regel geschieht dies durch die automatische Ermittlung der Orte mit hoher Raumkrümmung. Diese sog. Raumkanten werden dann als Berandungslinien für die Erzeugung einer Polynomfläche oder eines Flächenverbandes herangezogen. Solche Verfahren werden z. B. von der Fa. BCT, Dortmund unter der Bezeichnung "scancad geo", von der amerikanischen Firma Imageware, Ann Arbor, unter der Bezeichnung "Surfacer" angeboten. Solche global ermittelte Raumkanten sind oft nicht identisch mit technisch/konstruktiv sinnvollen Berandungen für Flächen, d. h. mit einer solchen Aufteilung, wie sie ein Konstrukteur durchführen würde. Bei vielen, lediglich durch Freiformflächen gekennzeichneten Modellen sind oft keine Linien mit einer hohen Raumkrümmung vorhanden.

Aus diesem Grunde ist die Qualität der automatisch erzeugten Berandungen solcher Programme bei weitem nicht ausreichend, da sie in der Regel nur bei scharfkantigen Modellen einigermaßen sinnvolle Berandungen ermitteln und da sie in keinem Fall über das gesamte, anwendungsspezifische Expertenwissen eines Konstrukteurs verfügen. Alle diese Programme verfügen daher über zusätzliche manuelle Editiermöglichkeiten, mit welchen solche Berandungen am Bildschirm in der 3D Punktwolke eingezeichnet werden können.

Es braucht nicht weiter betont zu werden, daß diese zeitaufwendige Editierung auch technisch sehr schwie-

rig ist. Die Eingabe einer dreidimensionalen Berandung auf einer dreidimensionalen Punktwolke, welche lediglich auf einem flachen Bildschirm darstellbar ist, verlangt ein ausgeprägtes räumliches Vorstellungsvermögen und kann daher nur von Fachkräften durchgeführt werden.

Durch diese Schwierigkeiten wird z.Zt. der Einsatz von optischen 3D Digitalisierer stark behindert, obwohl die Vorteile solcher Digitalisierer für den gesamten Bereich des Rapid Prototyping unbestritten sind.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu entwickeln, mit welchem die vollautomatische Rückführung von sinnvollen Flächen aus Punktwolken, wie sie mit optischen Digitalisierer gewonnen werden, ermöglicht wird. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch folgende Verfahrensschritte gelöst:

1. auf dem zu digitalisierenden Objekt werden vorab die gewünschten Flächenberandungen durch kontrastreiche Linien markiert und/oder die Regionen von Punktedaten, über welche eine Flächenrückführung durchgeführt werden soll durch eine festgelegte Farbe und/oder Textur markiert.
2. das zu digitalisierende Objekt wird mit einem 3D Sensor erfaßt, in oder an dem mindestens ein bildgebender Sensor angebracht ist.
3. neben der Gewinnung von 3D Daten mit Hilfe des 3D Sensors werden ein oder mehrere Auflichtbilder mit Hilfe des bildgebenden Sensors erfaßt und aus diesen mit bekannten Verfahren der zweidimensionalen Bildverarbeitung die linienhaften und/oder flächenhaften Markierungen automatisch extrahiert.
4. durch Überlagerung dieser extrahierten Markierungen mit den drei-dimensionalen Punktedaten werden diejenigen Raumpunkte automatisch gekennzeichnet, welche von diesen Markierungen überdeckt werden.
5. Mit bekannten Verfahren der Flächenrückführung werden für alle durch eine geschlossene Berandung von linienhaften Markierungen und/oder von den flächenhaften Markierungen gekennzeichneten Raumpunkte eine für den Export nach CAD/CAM Systemen geeignete polynomiale Fläche bzw. Flächenverband erzeugt.

Das Verfahren sei beispielhaft, aber nicht einschränkend anhand der folgenden Abbildungen erklärt:

Fig. 1 zeigt ein zu digitalisierendes Modell auf dessen Oberfläche beispielhaft eine linienförmige Berandungsmarkierung und eine flächenhafte Regionenmarkierung aufgebracht wurden.

Fig. 2 zeigt wie durch unterschiedliche Markierungen am gleichen Objekt es möglich ist, diese Markierungen nicht nur automatisch zu erkennen sondern auch zu unterscheiden

Fig. 3 zeigt das Blockschaltbild einer Anordnung zur Durchführung des Verfahrens.

Erfindungsgemäß werden vom Fachmann nach Fig. 1 auf dem zu digitalisierenden Modell 1, im Beispiel ein Schuhleisten, linienhafte 2 oder flächenhafte 3 Markierungen aufgebracht, welche von dem im 3D Meßkopf 4 angebrachten Bildsensor 5 detektiert werden können. Solche Markierungen können z. B. aus kontrastreichen schwarz/weiß Linien, aus farblich vom Hintergrund abgesetzten Linien, aus farbigen Flächen, aus Texturen und ähnliche, sich vom Hintergrund unterscheidbaren

Kennzeichnungen bestehen.

Dem Fachmann der zwei-dimensionalen Bildverarbeitung ist wohl bekannt, wie solche linien- oder flächenhaften Markierungen gewählt und automatisch erkannt werden können:

- schwarz/weiße Linien können über Kantenfilter erkannt werden
- farbige Linien und Flächen können durch lokale Farbklassifikation erkannt werden
- Texturen können durch Texturoperatoren wie z. B. die Co-occurrence Matrizen erkannt werden

Es ist dem Fachmann der Bildverarbeitung auch bekannt, wie Störungen bei der automatischen Detektion dieser Markierungen durch lineare oder nicht-lineare Filter und morphologische Operationen zu beseitigen sind.

Erfindungsgemäß werden solche Markierungen verwendet, welche die normale 3D Vermessung nicht stören, weil sie im Bereich der Wellenlänge des Lichtes, welches zur 3D Digitalisierung verwendet wird, vom Bildsensor nicht erfaßt werden. Dies ist z. B. durch die Verwendung von UV-fluoreszierenden Tinten und durch eine getrennte UV Auflicht Beleuchtung leicht erreichbar.

Erfindungsgemäß wird eine farbliche Markierung verwendet, welche sich vom Hintergrund unterscheidet und durch Farbklassifikation des Auflichtbildes automatisch erkannt wird.

Ein weiterer Erfindungsgedanke ist es, die einzelnen Markierungen so zu wählen, daß sie nicht nur automatisch mit den Methoden der 2-dimensionalen Bildverarbeitung erkennbar sondern auch unterscheidbar sind. Fig. 2 zeigt beispielhaft ein Modell 1, bei welchem vier Regionen 2, 3, 4, und 5 durch jeweils zwei unterschiedliche linienhafte 6 und 7 und zwei unterschiedliche flächenhaften 8 und 9 Markierungen gekennzeichnet sind. Mit bekannten Verfahren der Mustererkennung lassen sich diese Markierungen unterscheiden. Die beiden flächenhaften Texturmarkierungen unterscheiden sich deutlich durch ihre Ortsfrequenzen und lassen sich daher leicht mit entsprechenden, frequenzselektiven Algorithmen unterscheiden.

Erfindungsgemäß wird die Unterscheidung der Markierungen dazu verwendet, die rechnerische Flächenrückführung zu steuern. So wird z. B. anhand der erkannten Markierung festgelegt, welches Toleranzband für eine gegebene Flächenrückführung verwendet werden soll. Die Unterscheidbarkeit der Markierungen kann auch beispielhaft dazu verwendet werden, den Polynomgrad der approximierenden Fläche festzulegen.

Da die Markierungen vom Fachmann am Modell festgelegt werden, kann der nachfolgende Prozeß der Flächenrückführung vollautomatisch erfolgen, wobei durch die automatische Erkennung der Markierungen die einzelnen rückzuführenden Regionen innerhalb der Punktwolke automatisch bestimmt werden und aus der Unterscheidbarkeit der Markierungen die Flächenrückführungsalgorithmen für diese Regionen unterschiedlich gesteuert werden können.

Durch die direkte Anbringung der Markierungen am Modell entfallen auch die Schwierigkeiten der Markierungen einer drei-dimensionalen Punktwolke an einem zwei-dimensionalen Bildschirm.

Eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens sei beispielhaft anhand von Fig. 3 erklärt. Beispielhaft werden zur Markierungen flächenhaftige farbliche Mar-

kierungen 1 verwendet. Als 3D Sensor kommt eine Streifenprojektionsmeßkopf 2 zur Anwendung, wobei die benötigte CCD-Kamera 3 als Farbkamera ausgelegt ist.

Zur Durchführung der 3D Digitalisierung wird das Luminanzsignal 4 im 3D Bildrechner 5 verwendet. Zur automatischen Erkennung und Unterscheidung der farblichen Markierungen wird das Farbsignal 6 im Farbbildrechner 7 verarbeitet. Beispielhaft seien zwei farblich unterschiedliche Markierungen eingesetzt. Der Farbbildrechner extrahiert aus dem Kamerabild automatisch die Farbregionen 8 und 9. Im 3D Bildrechner werden die Punktwolken und die Farbregionen überlagert und es werden an die CAD Anlage die Liste 10 der dreidimensionalen Punktekoordinaten zu Regionen zusammengefaßt und und mit entsprechenden Attributen versehen übertragen.

Erfindungsgemäß wird auf dem 3D Sensor ein eigener Bildsensor eingesetzt, welcher durch seine Empfindlichkeit so ausgelegt ist, daß er nur die Markierungen erfaßt.

Bei der Verwendung von punktförmig oder linienförmig abtastenden 3D Sensoren läßt sich das erfindungsgemäße Verfahren ebenfalls einsetzen. Hierzu kann z. B. der Sensor farbsensitiv ausgelegt werden und entsprechend abgestimmte farbliche Markierungen verwendet werden.

Erfindungsgemäß werden als Markierungen räumlich lokal unterscheidbare Linien oder flächenmäßige Markierungen verwendet und diese durch lokale Operationen im 3D Bild automatisch erkannt. So kann beispielhaft eine linienförmige Berandung durch Aufkleben eines dünnen Drahtes erfolgen. Durch eine Hochpaßfilterung im Abstandsbild des 3D Sensors bzw. durch Ermittlung stark gekrümmter linienhafter Strukturen können diese Markierungen im 3D Bildrechner ermittelt werden. Damit können auch Modelle mit wenig gekrümmten Flächen automatisch in sinnvolle Regionen zerlegt und regionenweise in Flächen zurückgeführt werden. Auch diese Verfahren der automatischen Erkennung solcher räumlichen Markierungen sind dem Fachmann der 3D Bildverarbeitung bekannt.

Als räumliche Markierungen kann auch eine bestimmte erhabene oder vertiefte Textur aufgebracht werden, welche sich im 3D Bildrechner als Gebiet mit einer bestimmten Ortsfrequenz automatisch erkennen läßt. Die räumliche Lage des Hintergrundes des Modells läßt sich trotz solcher Markierungen durch Glättungsfilter, Extrapolationen oder ähnliche, dem Fachmann bekannten Verfahren automatisch durchführen.

Durch die erfindungsgemäßen Verfahren und Anordnungen wird erreicht, daß ab dem Vorgang der Digitalisierung vollautomatisch Oberflächenkoordinaten zu technisch sinnvollen Regionen zusammengefaßt und in auf CAD/CAM Systeme übertragbare Flächen zurückgeführt werden können, ohne daß an diesem Vorgang noch ein Fachmann beteiligt zu werden braucht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur automatischen Flächenrückführung von punktförmig vorliegenden Oberflächenkoordinaten, insbesondere zur Ankopplung von optischen 3D Digitalisierer an CAD/CAM Anlagen, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte
 - a) auf dem zu digitalisierenden Objekt werden vor der Digitalisierung die gewünschten Flächenberandungen durch kontrastreiche Linien

markiert und/oder die Regionen von Punktedaten, über welche eine Flächenrückführung durchgeführt werden soll durch eine festgelegte Farbe und/oder Textur markiert.

b) das zu digitalisierende Objekt wird mit einem 3D Sensor erfaßt, in oder an dem mindestens ein bildgebender Sensor angebracht ist.

c) neben der Gewinnung von 3D Daten mit Hilfe des 3D Sensors werden ein oder mehrere Auflichtbilder mit Hilfe des bildgebenden Sensors erfaßt und aus dem Signal dieses Sensors mit bekannten Verfahren der zweidimensionalen Bildverarbeitung die linienhaften und/oder flächenhaften Markierungen automatisch extrahiert.

d) durch Überlagerung der extrahierten Markierungen mit den dreidimensionalen Punktedaten werden diejenigen Raumpunkte gekennzeichnet, welche von diesen Markierungen überdeckt werden und diese zu einzeln in Flächen rückzuführende Regionen zusammengefaßt.

e) mit bekannten Verfahren der Flächenrückführung werden für alle zu einer Region zusammengefaßte Raumpunkte jeweils eine für den Export nach CAD/CAM Systemen geeignete polynomiale Fläche bzw. ein Flächenverband erzeugt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die linienhaften und/oder flächenhaften Markierungen so ausgewählt werden, daß sie sich automatisch mit Verfahren der 2D Bildverarbeitung voneinander unterscheiden lassen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß sich die linienhaften und/oder flächenhaften Markierungen durch ihre Helligkeit und/oder Farbe und/oder Textur vom Hintergrund und/oder untereinander unterscheiden.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die automatische Unterscheidbarkeit der Markierungen zur Übergabe von Informationen, welche die Algorithmen der Flächenrückführung steuern verwendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Markierungen so gewählt sind, daß sie für den optischen 3D Digitalisierer nicht sichtbar sind.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Markierungen nur bei einer besonderen Beleuchtung für den Bildsensor sichtbar werden.

7. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein optischer 3D Sensor verwendet wird, welcher im oder am Meßkopf einen bildgebenden Sensor verwendet, daß dieser Sensor so ausgerichtet ist, daß er das gleiche Bildfeld erfaßt wie der 3D Sensor, daß auf der Oberfläche des zu digitalisierenden Objektes Markierungen angebracht sind, daß die Signale des bildgebenden Sensors in einem Bildrechner mit Verfahren der zweidimensionalen Bildverarbeitung ausgewertet werden und die Markierungen automatisch erkannt werden, daß im Rechner die 3D Punktekordinaten und die Markierungskordinaten überlagert werden, daß die Punktekordinaten zu Regionen zusammengefaßt werden, welche jeweils einer Markierung entsprechen und in einem Rechner regionenweise zu Flächen

chen oder Flächenverbänden zurückgeführt werden, welche auf CAD/CAM Anlagen übertragen werden können.

8. Anordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der bildgebende Sensor ein Farbsensor ist.

9. Anordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Markierungen nur in einem bestimmten Wellenlängenbereich sichtbar sind und zur Detektion mit einer entsprechend abgestimmten Auflichtbeleuchtungsquelle beleuchtet werden.

10. Anordnung nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß als 3D Sensor ein punktförmig oder linienförmig abtastender Sensor verwendet wird und die Empfindlichkeit des das zur 3D Vermessung reflektierte Licht empfangenden Sensors so gewählt ist, daß er die Markierungen vom Hintergrund und von dem zur 3D Vermessung aufprojizierten Punkt- oder Linien-Muster unterscheiden kann.

11. Verfahren zur automatische Flächenrückführung von punktförmig vorliegenden Oberflächenkoordinaten, insbesondere zur Ankopplung von optischen 3D Digitalisierer an CAD/CAM Anlagen, durch die folgenden Schritte gekennzeichnet

a) auf dem zu digitalisierenden Objekt werden vor der Digitalisierung die gewünschten Flächenberandungen durch räumlich als Erhebung oder Vertiefung kontrastierende Linien markiert und/oder die Regionen von Punktedaten, über welche eine Flächenrückführung durchgeführt werden soll durch eine festgelegte räumlich erhabene oder vertiefte Textur markiert.

b) das zu digitalisierende Objekt wird mit einem 3D Sensor erfaßt.

c) neben der Gewinnung von 3D Daten mit Hilfe des 3D Sensors werden aus dem 3D Bild mit bekannten Verfahren der dreidimensionalen Bildverarbeitung die erhabenen oder vertieften linienhaften und/oder flächenhaften Markierungen automatisch extrahiert.

d) durch Überlagerung der extrahierten Markierungen mit den dreidimensionalen Punktedaten werden diejenigen Raumpunkte gekennzeichnet, welche von diesen Markierungen überdeckt werden und diese zu in Flächen rückzuführende Regionen zusammengefaßt.

e) mit bekannten Verfahren der Flächenrückführung werden für alle zu einer Region zusammengefaßte Raumpunkte jeweils eine für den Export nach CAD/CAM Systemen geeignete polynomiale Fläche bzw. ein Flächenverband erzeugt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

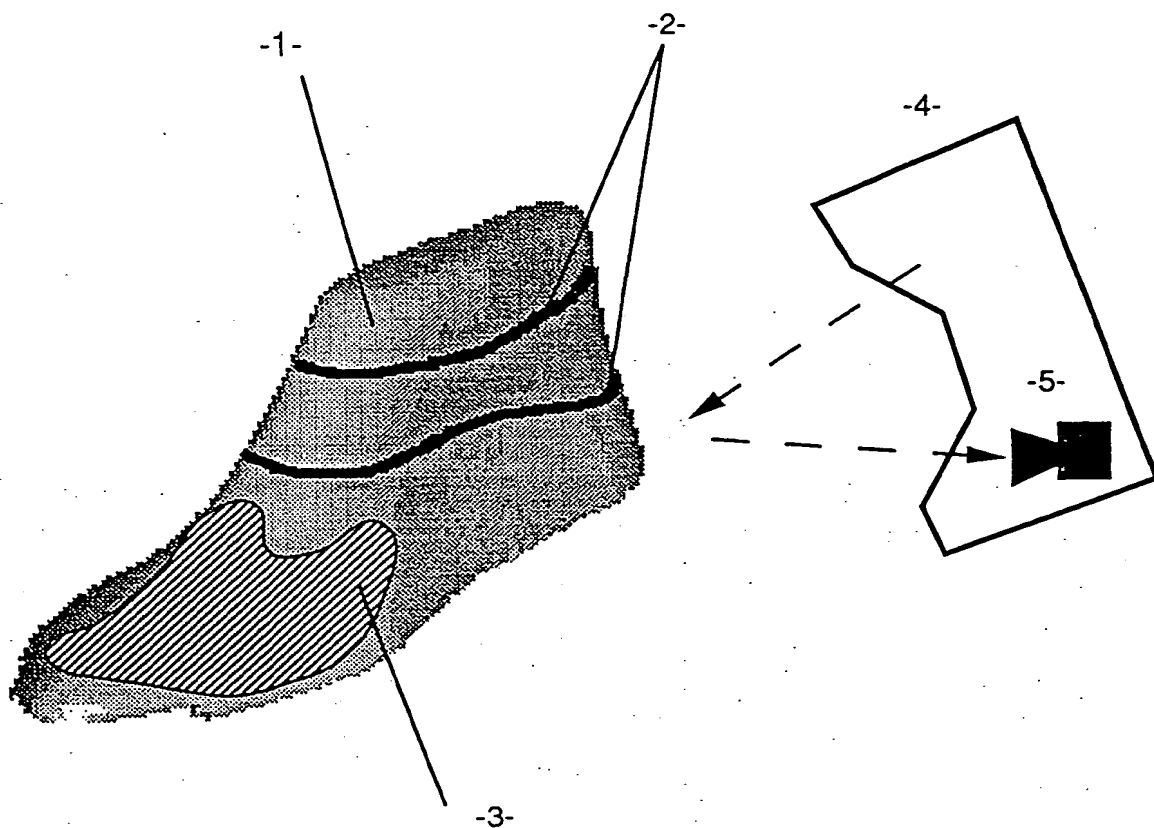


Fig. 1

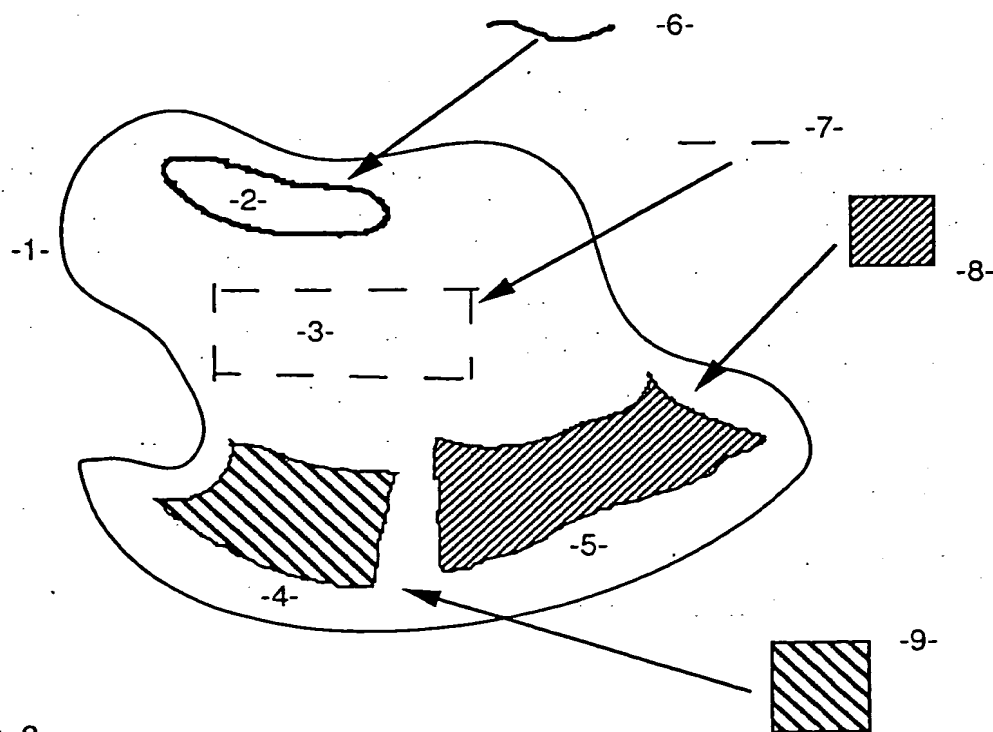


Fig. 2

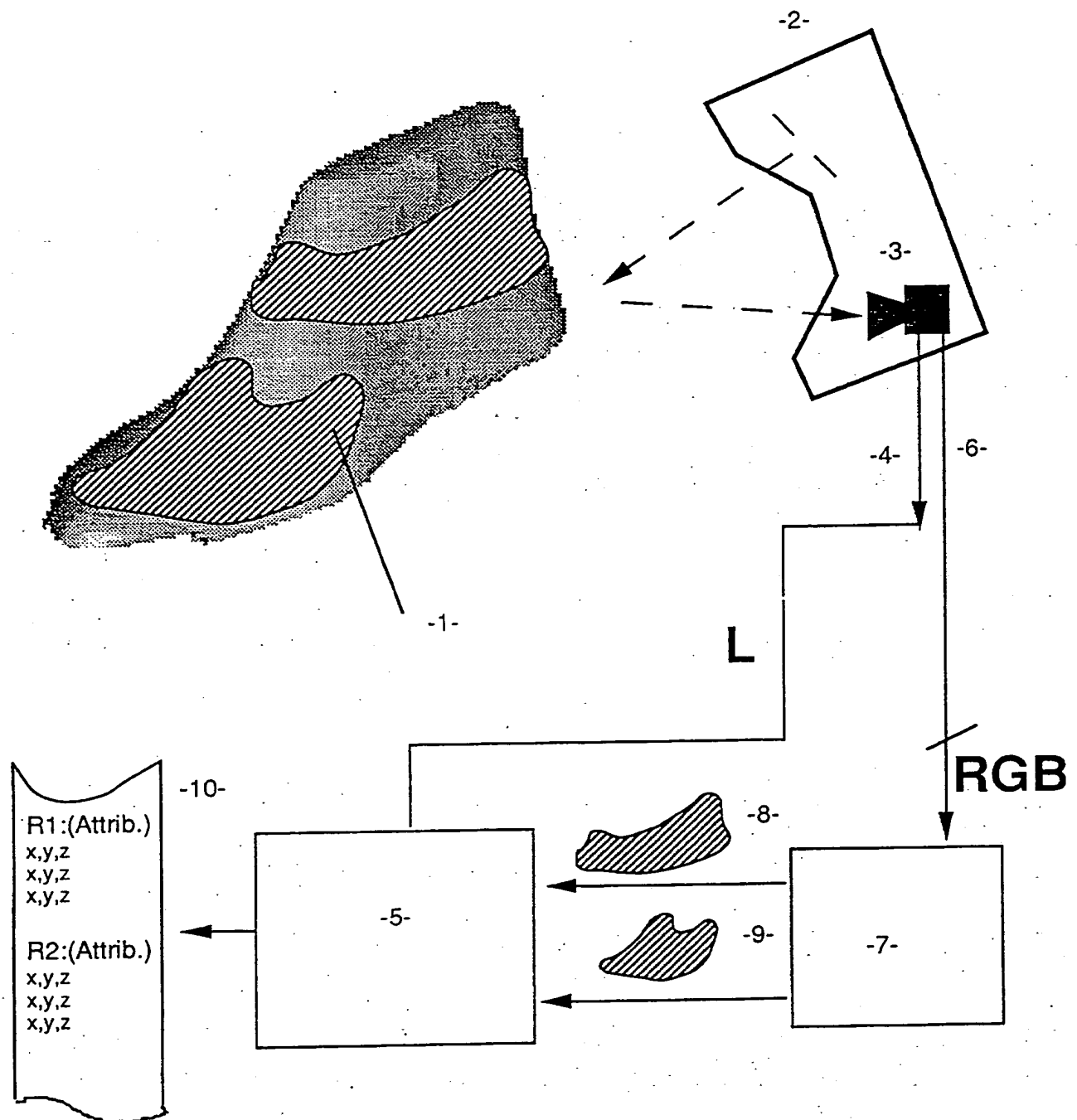


Fig. 3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.